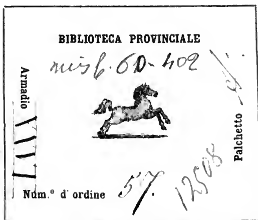

PIZZOFALCONE

NAZIONALE
BIBLIOTECA
B. Prov.
Miscellanea
C
60
402
VITTORIO EM. III
NAPOLI

BIBLIOTECA PROVINCIALE
Armadio
Palchetto
Num.° d' ordine

MÉMOIRE

SUR LES

TURBINES HYDRAULIQUES.

MÉMOIRE

SUR LES

TURBINES HYDRAULIQUES

ET

SUR LEUR APPLICATION EN GRAND DANS LES USINES ET MANUFACTURES,

PAR

Mr. FOURNEYRON

INGÉNIEUR CIVIL A BESANÇON.



L'Auteur de ce Mémoire a obtenu le prix de 6000 francs proposé par la Société d'encouragement pour l'industrie nationale, pour la fabrication de la Turbine.

LIÉGE,

LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE ET INDUSTRIELLE,

DE A. LEROUX FILS.

MONS, LEROUX. | NAMUR. LEROUX, FRÈRES.
BRUXELLES. Chez tous les Libraires. | ANVERS. FROMENT.
GAND. HOSTE. | CHARLEROY. LALIEU.

1840.

MEMOIRE

SUR LES



TURBINES HYDRAULIQUES.

Considérations préliminaires (*).

Les appareils connus sous la dénomination de roues hydrauliques, et employés jusqu'ici pour recueillir la force de l'eau tombant d'une certaine hauteur ou animée d'une certaine vitesse, ayant chacun des avantages qui leur sont propres, et leurs inconvénients étant inséparables de ces avantages, ne se prêtaient pas convenablement à tous les besoins de l'industrie.

C'est ainsi, en effet, que certaines roues très bonnes pour économiser l'eau ne sont applicables qu'à des chutes assez grandes, ne peuvent être animées que d'une petite vitesse et ont des dimensions considérables; que d'autres, au contraire, susceptibles d'être employées pour de petites chutes et capables de tourner avec une vitesse plus grande que les premières, exigent une quantité d'eau beaucoup plus grande que l'on ne peut pas en tout temps

(*) L'auteur de ce mémoire a obtenu le prix de 6,000 francs proposé par la Société pour l'application en grand, dans les usines et manufactures, des turbines hydrauliques ou roues à palettes courbes de *Bélidor*.

se procurer ; qu'une troisième espèce, participant aux avantages de la première et aux inconvénients de la seconde, leur est quelquefois préférée dans la pratique.

Dans cette pénurie de moyens de dépouiller l'eau de sa force pour la transmettre aux organes mécaniques nécessaires à la production industrielle, on a imaginé une infinité de dispositions se rapprochant plus ou moins des trois espèces de roues citées et n'offrant pour la plupart que peu d'améliorations notables.

C'est de ce concours d'efforts qu'est résultée la roue de M. *Poncelet*, roue qui se distingue essentiellement de toutes les autres, et qui, d'après les recherches théoriques et les expériences de son inventeur, semble promettre d'utiles résultats si les applications en étaient faites avec discernement et suivant les règles prescrites par le professeur.

C'est encore à la même cause qu'on doit attribuer les recherches théoriques de M. *Navier* et celles de M. *Burdin* sur les roues désignées par lui sous la dénomination générale de *turbines hydrauliques.*

La Société d'Encouragement pour l'industrie nationale n'a pas voulu rester étrangère au mouvement imprimé par les ingénieurs distingués, qui, en s'occupant du perfectionnement des roues hydrauliques, ont fait concevoir un si grand espoir du parti à tirer des roues dites *turbines*, si l'on parvenait à une disposition conforme aux indications de la théorie. Elle a, pour provoquer la solution de cette question, ouvert un concours dont la durée a déjà été prolongée plusieurs fois.

Occupé depuis 1823 de la réalisation du principe des turbines, ce ne fut qu'en 1827 que mes premiers essais eurent lieu et qu'ils furent couronnés d'un succès auquel

je ne pouvais guère m'attendre ; mais la roue d'essai que je venais d'établir étant la seule de son espèce que j'eusse construite, je ne pus me présenter au concours de 1827.

Des travaux d'un autre genre ne m'ayant pas permis de me mettre sur les rangs au concours de 1829, j'ai fait des efforts pour être admis à celui de 1832.

Deux roues, en effet, devaient au moins être construites et appliquées à une usine en grand : je n'en avais qu'une : à la vérité elle avait, avec des avantages évidents, reçu son application à un tour, une meule et une scierie ; mais, seule de son espèce, la condition du programme, qui en exige au moins deux, n'était point remplie.

Pour parvenir à une seconde application de ma roue, la plus grande difficulté n'a pas été dans la solution du problème proposé, mais bien de vaincre la répugnance avec laquelle les idées nouvelles sont généralement accueillies.

Assez heureux enfin pour trouver dans un des plus honorables maîtres de forges de la Franche-Comté (M. *F. Caron*, propriétaire des belles forges de Fraisans et dépendances, à la mémoire duquel je ne cesserai de payer un juste tribut d'estime et de reconnaissance) le désir d'adopter pour mouvoir la machine soufflante de l'une de ses usines (le haut-fourneau de Dampierre) une turbine analogue à celle que j'avais établie aux usines de Pont-sur-l'Ognon, je saisis avec le plus vif empressement l'occasion qui se présentait et que j'appelais de tous mes vœux.

La construction de ce moteur de la force de sept à huit chevaux-vapeur, immédiatement exécutée toute en fonte et en fer, ne tarda pas à donner la conviction de la su-

périorité de ce système sur les autres, et les avantages offerts par cette roue de tourner sous l'eau et de produire un effet utile plus grand que celui obtenu des meilleures roues en dessous, d'être plus solide, plus durable et moins embarrassante, frappèrent tellement M. *Caron*, qu'il n'hésita pas à renoncer à l'emploi de deux grandes roues déjà construites pour mettre en action la machine soufflante du bel établissement du haut-fourneau qu'il édifiait, et à me demander pour remplacer ces deux énormes roues de bois par une turbine de grande dimension.

Cette turbine, toute en fonte et en fer, n'est achevée que depuis un mois et demi environ. La force pour laquelle elle devait être construite était de vingt chevaux-vapeur ; mais le projet du propriétaire étant d'employer les mêmes modèles pour la construction future d'une roue de cinquante chevaux environ, je n'ai pas craint de donner à cette roue une force de beaucoup supérieure aux besoins ordinaires, parce que, dans les grandes variations du Doubs, cet accroissement de force fournit le moyen de n'être pas sujet à toutes les interruptions de travail que l'on éprouve avec les anciennes roues très souvent immergées.

C'est pour cela qu'expérimentée au moyen du frein de M. *Prony*, la turbine a démontré qu'elle était capable d'un effet égal à celui de cinquante chevaux-vapeur, lorsqu'elle travaille sous la chute de $1^{m},30$.

La condition imposée par le programme d'avoir construit et mis en œuvre au moins *deux turbines*, assez en grand pour que les résultats offerts à la Commission chargée de les examiner puissent porter une entière conviction dans tous les esprits, est donc parfaitement remplie par ces di-

verses constructions, dont la dernière excède à coup sûr en force et en produit tout ce qui a été fait jusqu'ici en ce genre, sur une chute aussi petite et même sur une chute quelconque.

La construction de ces trois roues a déjà produit son effet, puisque plusieurs autres demandes me sont adressées indépendamment de la turbine dont MM. les ingénieurs, qui ont examiné la plus grande, ont vu les modèles d'après lesquels elle va être moulée en fonte.

Fonctionnant immergée sous une grande profondeur d'eau, et quand il ne lui reste que $0^{m},227$ (8 pouces 5 lignes) de chute, la turbine de Fraisans, comme celles que j'ai construites auparavant, remplit, sous ce rapport, comme elle le fait sous tous les autres, les intentions du programme de la Société d'Encouragement.

PREMIÈRE PARTIE.

Théorie et description générale des turbines hydrauliques, objets de ce mémoire.

1. La question à résoudre pour obtenir d'une chute d'eau le plus grand effet possible consiste, comme on sait, à recevoir l'eau sans choc dans l'appareil destiné à en transmettre la force et à l'en faire sortir sans vitesse.

Ces conditions faciles à remplir, s'il ne s'agissait que d'un filet fluide, présentent dans la pratique des difficultés qui paraissent insurmontables. Une masse d'eau dont les dimensions sont un peu considérables ne se comporte

pas comme un simple filet ; elle offre dans son mouvement une infinité de circonstances dont il serait essentiel de tenir compte.

Mais plusieurs des phénomènes qui accompagnent le mouvement des fluides échappant à l'observation, d'autres ne pouvant pas être calculés faute de connaître exactement toutes les lois en vertu desquelles ils ont lieu, on doit, dans l'état actuel de nos connaissances, se rapprocher le plus possible du *maximum*, malgré le peu d'espoir de l'atteindre complétement.

Telle est la direction que j'ai donnée à mes recherches, dont les résultats ont déjà subi les preuves de l'expérience.

2. Soit un simple filet liquide AB faisant un angle ABC $= a$ avec un plan vertical BD mobile parallèlement à lui-même dans la direction BE perpendiculaire à BC et BD (Pl. 1re, *fig.* 1).

Supposons que le filet AB, qui vient agir horizontalement sur le plan BD, soit animé d'une vitesse V, et examinons ce qui aurait lieu si le plan BD n'offrait aucune résistance à l'action de l'eau qui tend à le mettre en mouvement.

Il est évident que, si l'on fait abstraction de toute résistance, le filet liquide se mouvra comme si le plan BD n'existait pas, et celui-ci prendra une vitesse telle, qu'il aura parcouru l'espace DD' dans le même temps qu'une molécule d'eau, animée de la vitesse V, aura parcouru BD'.

Si donc v représente la vitesse de la surface ou plan mobile BD, on a :

$$V : v :: BD' : DD'.$$

Et comme BD est perpendiculaire à DD', parallèle à BB', le triangle BDD' est rectangle en D. On a donc DD' = BD'

sin. ($DBD' = a$); mettant cette valeur de DD′ dans la proportion, on a

$$V : v :: BD' : BD' \sin a,$$ de laquelle on tire

$$V \sin a = v.$$

Ce qui signifie que, *lorsque le plan mobile est perpendiculaire* à la direction du mouvement, la plus grande vitesse que l'eau puisse lui communiquer est égale à la vitesse propre de ce liquide, multipliée par le sinus de l'angle ABC désigné par a.

3. Maintenant que l'on donne au plan mobile BD une position différente, la position Bd, par exemple; lorsque ce nouveau plan sera mis en mouvement par le filet AB animé toujours de la même vitesse V, il suffira, pour que l'eau ne soit pas dérangée de sa direction AB et n'exerce, par conséquent, sur le plan aucune action autre que celle de lui transmettre la plus grande vitesse possible; dans ce cas, il suffira, dis-je, que le plan ait parcouru l'espace dD', pendant qu'une molécule d'eau sera parvenue de B en D′.

On voit que le changement opéré a eu pour effet de diminuer de la quantité Dd la vitesse précédente $v = V \sin a$.

Si l'angle ABd formé par le plan avec la direction de l'eau augmentait encore, le *maximum* de vitesse que ce plan pourrait acquérir deviendrait plus petit; enfin cette vitesse serait nulle si l'angle ABd devenait égal à deux droits, ou, ce qui est la même chose, si le plan BD était dans le prolongement de AB.

Au contraire, si le plan était incliné à gauche de BD et prenait la position Bd', faisant avec AB un angle plus petit que ABD, la surface mobile BD′ tendrait à acquérir le maximum de vitesse $d'D'$, pendant le temps qu'une molé-

cule d'eau mettra à parcourir la ligne BD′. Ce maximum serait donc plus grand que DD′ de la quantité D*d*′.

Il augmenterait encore si l'on disposait le plan de manière que l'angle AB*d*′ fût plus petit; et, enfin, ce maximum deviendrait infini si, la direction AB restant la même, on donnait à la distance D*d*′ de l'extrémité du plan mobile au point D, ainsi qu'au plan lui-même, une longueur infinie, pourvu, toutefois, que l'on fit toujours abstraction de toute résistance.

4. C'est ainsi qu'en changeant l'inclinaison du plan mobile par rapport à la direction de son mouvement, la théorie semble offrir la possibilité d'obtenir qu'un filet liquide animé d'une vitesse finie communique à ce plan une vitesse à volonté infiniment petite ou infiniment grande.

Telle est en effet une des premières conditions que l'on a pensé pouvoir remplir par l'espèce de roue à laquelle on a donné le nom de turbine.

5. Mais nous avons vu que, pour obtenir d'une chute d'eau toute la force qu'elle possède, il faut la *recevoir sans choc* dans l'appareil et l'en faire sortir sans vitesse.

Or, dans les diverses hypothèses que nous avons faites jusqu'ici, aucune de ces deux conditions ne pourrait avoir lieu; car on sait qu'il faudrait, pour remplir la première, que le plan BD eût pour direction la résultante de la vitesse du fluide et de celle du plan mobile, et qu'on ne satisferait à la seconde qu'en donnant à ce même plan une direction faisant avec celle du mouvement un angle nul ou égal à zéro.

Il faudrait que la même ligne tracée sur le plan eût à la fois deux directions différentes, ce qui est impossible.

Ainsi il résulterait toujours de l'adoption d'un *plan* BD,

ou que l'eau n'agirait pas sur lui sans le choquer, ou qu'elle le quitterait avec une certaine vitesse absolue, ou même simultanément l'un et l'autre de ces deux inconvéniens, indépendamment des autres causes de perturbation occasionées par le choc.

La disposition dont il vient d'être parlé pouvant donner lieu aux différentes vitesses désirables, l'économie de la force motrice s'oppose à son adoption, et l'on voit que l'adoption des aubes droites doit être entièrement proscrite du système dont il s'agit.

6. On sait qu'abstraction faite du frottement l'on peut, au moyen d'une courbe bien continue, changer la direction du mouvement de l'eau et même lui faire prendre une direction contraire, sans altérer sa vitesse primitive, et par conséquent sans perdre de force vive, si les diverses directions que l'on donnera à la marche du filet liquide sont toutes dans un même plan horizontal.

Il faut donc, pour recevoir l'action du filet fluide, substituer la surface courbe BD (Pl. 1, *fig.* 2) au plan mobile à surface plane dont il a été d'abord question.

On sait que BE et BA (*fig.* 2), étant supposés représenter en grandeur et en direction les vitesses respectives de la surface et de l'eau pendant le mouvement; que BC étant la résultante de ces deux vitesses, l'eau ne choquera point la courbe BD si la tangente à cette courbe en B se confond avec la ligne BC.

Quant aux derniers éléments de la courbe au point D, on pourra sans difficulté lui donner la direction exigée.

7. Maintenant, si au lieu d'un seul filet fluide indéfini on en considère un plus grand nombre les uns à côté des autres, de manière à former une masse d'eau d'une épaisseur don-

née, chacun d'eux n'étant pas sensiblement compressible au cube, sur la courbe de même épaisseur qu'il avait avant, il lui est donc parallèle et forme une courbe semblable à la surface sur laquelle il glisse, laquelle courbe liquide sert elle-même à transmettre l'action d'un second filet qui reçoit celle d'un troisième, etc.

Tout restant de même, direction et courbure, et les molécules d'eau pouvant se prêter par suite à la forme que les filets fluides sont obligés de prendre, on appliquerait à chacun le raisonnement qui a été fait sur le premier, si, dans le cas où la courbe serait tangente en D à la direction du mouvement, le dégagement de l'eau pouvait se faire librement.

Mais ce changement ne pouvant avoir lieu, il est indispensable, pour le faciliter, de construire la courbe de manière que son dernier élément fasse, avec D*g*, un certain angle qui, cependant, doit être aussi petit que possible.

8. En disposant ainsi un certain nombre d'aubes, on obtiendrait un mouvement rectiligne continu, tant qu'il se présenterait des courbes à l'action de l'eau; et si, au lieu de les ranger toutes sur une même ligne droite, on les place ymétriquement et à égales distances sur la circonférence d'un disque circulaire *abcd*, *a'b'c'd'* (*fig.* 3), lié d'une manière quelconque à son axe *o*, et si l'on place intérieurement, suivant *ha*, le filet fluide incidont, on aura une roue à laquelle l'eau communiquera un mouvement circulaire continu.

Dans ce cas, comme dans celui du mouvement rectiligne continu, si l'on n'employait qu'un petit nombre de filets fluides, leur action serait irrégulière, parce que tous ne commenceraient pas à presser les courbes au point *a*, une

partie ne les atteindrait que vers le milieu de leur longueur et il en résulterait un choc, et l'eau ne serait pas convenablement employée.

9. Pour éviter cet inconvénient et rendre la roue susceptible de recevoir un grand volume d'eau, et par conséquent de donner plus de force sous de petites dimensions, j'ai cru préférable d'employer autant de filets que la circonférence de la roue peut en comporter, et je fais agir l'eau sur toutes les courbes en même temps, en divisant l'espace *abcd* en un certain nombre de compartiments limités par des *conducteurs* placés dans la direction *ha* des filets incidents.

De cette manière l'eau, se mouvant suivant la direction exigée *ha* le long des compartiments conducteurs, conservera cette direction en les quittant, et viendra agir sur les courbes sous l'angle voulu.

10. Mais pour que cette direction fît toujours et partout le même angle avec les divers rayons, il faudrait autant de filets que de rayons, et par conséquent un nombre égal de conducteurs, ce qui occasionerait une énorme perte de place et un frottement considérable.

D'un autre côté, la direction de chacun de ces conducteurs faisant un certain angle, dépendant de leur nombre, avec les deux conducteurs adjacents, ces conducteurs, prolongés en ligne droite suivant leurs traces respectives, tendent tous à se rencontrer, étranglent ainsi la partie intérieure de l'espace qu'ils limitent, et rendent très difficile, pour ne pas dire impossible, l'introduction de l'eau dans la roue sous la direction désirée, à cause de la grande divergence des filets.

Si l'on prolonge les conducteurs jusqu'à ce qu'ils se ren-

contrent, l'alimentation des compartiments ne peut avoir lieu que par dessus ; ce qui serait presque toujours rendu impossible par la petite surface libre des cases. Si, au contraire, on ne donnait au conducteur qu'une petite longueur, de manière à ne pas les faire rencontrer, l'alimentation aurait lieu du centre à la circonférence en même temps que par dessus.

Les conducteurs offrant alors à l'eau entrant latéralement dans les compartiments des surfaces droites isolées présentant plusieurs causes de contraction, la veine fluide se contracterait fortement, et se détachant des conducteurs perdrait la direction qu'elle doit avoir.

11. Pour donner et conserver, autant que possible, à l'eau cette direction, j'ai mis à profit la propriété qu'ont les corps de s'échapper, suivant la tangente, au dernier élément de la courbe sur laquelle ils se meuvent ; et j'emploie des diaphragmes courbes $b'a$ (*fig.* 4) qui, se dirigeant, d'une part, vers le centre o, et de l'autre, étant tangents à la ligne de direction voulue ba, conduisent l'eau, sans choc et sans occasioner trop brusquement la divergence nécessaire, dans les filets fluides jusqu'aux courbes de la roue.

12. Ces dispositions générales arrêtées et représentées *fig.* 4, Pl. 1, étudions, d'après M. *Navier*, la théorie de la roue à laquelle elles donnent lieu, avant de passer à la description de celles qui ont été exécutées pour les établissements précédemment indiqués.

Nommons :

V la vitesse dont l'eau est animée suivant la ligne ba.

v la vitesse angulaire de la roue.

r la distance à l'axe d'un point quelconque de la roue.

r' la distance à l'axe du point où l'eau entre dans la roue.

r'' la distance à l'axe du point de sortie de l'eau.

α l'angle *bao* formé par la veine d'eau avec le rayon.

δ l'angle *lik* formé par le dernier élément de la courbe avec la tangente au cercle de la roue.

P l'effort exercé au point *a*, tangentiellement à la circonférence intérieure de la roue.

m, E, π, g représentant la masse, le volume, le poids de l'unité de volume d'eau et la gravité.

Les courbes *ai*... étant, comme nous l'avons dit précédemment, placées tangentiellement en *a* à la résultante de la vitesse effective de la veine fluide au moment de son entrée dans la roue, et du point *a* de celle-ci, l'eau ne choquera point ces courbes; il n'y aura donc point de force vive, et il suffira de déterminer la force vive possédée par l'eau quand elle quitte la roue.

La vitesse de l'eau, quand elle entre dans la roue, est V suivant *ba*; elle est équivalente à la vitesse $da = \mathrm{V} \cos \alpha$ dans le sens du rayon, et la vitesse $bd = \mathrm{V} \sin \alpha$ perpendiculairement à cette direction ou dans le sens du mouvement de la roue.

La vitesse du point *a* est vr'.

La vitesse relative avec laquelle l'eau commencera à glisser le long de la courbe est donc

$$\sqrt{(\mathrm{V} \sin \alpha - vr')^2 + v^2 \cos^2 \alpha}.$$

La force vive que l'eau possède en cet instant, si l'on ne considère que son mouvement relatif dans la roue, est

$$m\left((\mathrm{V} \sin \alpha - vr')^2 + \mathrm{V}^2 \cos^2 \alpha\right).$$

Pendant que l'eau est contenue dans la roue, cette force vive doit augmenter du double de la quantité d'action qui lui est imprimée par la force centrifuge, laquelle est

$$\int m\,v^2\,dr = \tfrac{1}{2}\,m\,v^2\,(r''^2 - r'^2).$$

La force vive de l'eau doit donc devenir

$$m\left(\left(\mathrm{V}\sin\alpha + vr'\right)^2 + \mathrm{V}^2\cos^2\alpha + v^2\left(r''^2 - r'^2\right)\right),$$

ou

$$m\left(\mathrm{V}^2 - 2\,vr'\sin\alpha\,\mathrm{V} + v^2\,r''^2\right).$$

La vitesse effective à l'instant où l'eau quitte la roue est donc

$$\sqrt{\left(\mathrm{V}^2 - 2\,vr'\sin\alpha\,\mathrm{V} + v^2\,r''^2\right)} - vr''\cos\delta.$$

La force vive correspondante que l'eau possède alors est égale au produit de la masse d'eau employée m par le carré de cette vitesse et par conséquent à

$$m\left[\left(\mathrm{V}^2 - 2vr'\sin\alpha\,\mathrm{V} + v^2\,r''^2\right) + v^2\,r''^2\cos^2\delta - 2vr''\cos\delta\left(\sqrt{\mathrm{V}^2 - 2vr'\sin\alpha\,\mathrm{V} + v^2\,r''^2}\right]\right.$$

Égalant cette force vive au double de la quantité d'action imprimée, laquelle est

$$\tfrac{1}{2}\,m\,\mathrm{V}^2 - \mathrm{P}\,vr',$$

Il vient pour expression de l'effet obtenu

$$\mathrm{P}vr' = mv\,r'\sin.\alpha\,\mathrm{V} - \left(\frac{1+\cos^2\delta)m\,v^2r''^2}{2} + mvr''\cos.\delta\sqrt{\mathrm{V}^2 - 2vr'\sin.\alpha\,\mathrm{V} + v^2r''^2}\right)$$

13. On voit que, pour rendre cette expression de la quantité d'action la plus grande possible, il faut d'abord que l'on ait $\cos\delta = 1$ ou $\delta = 0$, c'est à dire que l'eau doit sortir de la roue tangentiellement sa circonférence.

Ainsi, dans ce cas, on a

$$\mathrm{P}vr' = m\left(vr'\sin.\alpha\,\mathrm{V} - v^2\,r''^2 + vr''\sqrt{\mathrm{V}^2 - 2vr'\sin.\alpha\,\mathrm{V} + v^2r''^2}\right).$$

De plus, pour que la quantité d'action transmise soit la plus grande possible et égale à celle qui a été fournie par la chute, il faut que l'eau, en sortant de la roue, ait une vi-

tesse effective nulle ; ce que l'on obtiendra en égalant à zéro l'expression de cette vitesse que nous avons trouvée.

On a donc, en se rappelant que $\cos\delta = 1$,

$$\sqrt{V^2 - 2vr' \sin.\alpha\, V + v^2 r''^2} - vr'' = 0,$$

ou

$V^2 - 2vr' \sin.\alpha V + v^2 r''^2 = v^2 r''^2$; d'où $V = 2vr' \sin.\alpha$.

vr' est la vitesse du point a de la circonférence intérieure; appelant u cette vitesse, on aura

$$\sin.\alpha = \frac{V}{2u};$$

C'est à dire que le sinus de l'angle sous lequel l'eau entre dans la roue doit être égal au quotient de la vitesse de l'eau, divisé par le double de la vitesse d'un point de la circonférence sur laquelle l'eau entre dans la roue.

Introduisant cette valeur de sin α dans l'expression de la quantité d'action transmise, il vient

$$Pvr' = Pu = \frac{mV^2}{2},$$

Ou en représentant par H la hauteur due à la vitesse V, et se rappelant que $V^2 = 2gH$,

$Pu = mgH$ égal à la quantité d'action fournie par le moteur.

La théorie indique donc que l'équation

$$\text{Sin.}\,\alpha = \frac{V}{2u}$$

Étant satisfaite, on obtiendrait de la roue dont il s'agit le *maximum* d'effet de la force motrice.

14. La même théorie appliquée aux roues analogues à celles des moulins du *Basacle*, décrites par *Bélidor* et examinées par M. *Navier*, présente le même résultat. Cependant

certain, d'après les observations faites par M. *Poncelet*, sur ceux de la ville de Metz, et mis en mouvement par des roues en tout semblables à celles des moulins du Basacle à Toulouse, auxquelles on a étendu le nom de turbines, que ces roues, loin d'atteindre ce maximum, produisent moins d'effet que toutes les autres roues connues, il est donc bien essentiel, pour éviter la même faute, de remplir aussi exactement que possible les conditions imposées par la théorie. C'est à cela que j'ai cru devoir m'appliquer avec le plus grand soin.

15. Et, d'abord, essayant de suivre la marche de l'eau dans la disposition que j'ai adoptée, j'ai voulu m'assurer, par une construction en bois, du fond F (*fig.4*) et des courbes conductrices *ab'*, *ab'* qu'il porte, si l'eau soumise à une certaine pression suivait, en sortant de ces compartiments, la direction voulue *ba*; j'ai reconnu, en effet, que l'eau se dirigeait assez bien suivant cette ligne, mais seulement dans le cas où le dessus des orifices, étant arrondi de manière à éviter la contraction de la veine, présentait une épaisseur suffisante.

Lorsqu'au contraire l'orifice était fermé par une mince paroi, l'eau ne suivait pas la même direction; elle sortait presque suivant les rayons, avec cette différence, cependant, que la concavité de la courbe altérait un peu cette marche, et faisait suivre à l'eau, vers la courbe concave seulement, une direction intermédiaire entre la sienne et celle des rayons voisins.

Quant à la courbe conduisant le fluide par sa partie convexe, l'eau s'en détachait entièrement, et laissait exister entre le dernier filet d'un compartiment et le premier du compartiment adjacent un vide triangulaire dont le sommet était situé à l'extrémité de chaque courbe conductrice.

Cette observation m'ayant fait connaître les conditions à remplir pour obtenir la sortie de l'eau assez exactement sous la direction voulue dans le plan horizontal, je pouvais aussi déterminer, d'après la théorie, la direction du premier élément de la courbe, de manière à éviter le choc de l'eau à son entrée dans la roue.

Pour l'en faire sortir sans vitesse, la théorie indique que le dernier élément de la courbe doit être tangent à la circonférence extérieure de la roue.

16. La figure de la courbe entre son premier et le dernier élément étant indifférente, d'après M. *Navier*, il restait à déterminer :

1°. La largeur *ag* de la couronne de la roue ;

2°. La position *i* de la courbe sur cette couronne ;

3°. Le nombre des courbes à employer.

1°. *La largeur de la couronne*. Elle doit être telle, que la courbure des aubes n'ait pas lieu sur un trop petit rayon, et que l'extrémité extérieure de ces aubes laisse à l'eau une somme de passages libres suffisante, c'est à dire beaucoup plus grande que la somme des orifices par lesquels l'eau s'échappe et coule dans la roue. J'ai trouvé que le rapport 0,70 adopté entre le diamètre extérieur et le diamètre intérieur, quand il s'agit de petites roues, et celui 0,75 à 0,83 pour les grandes, procurent aux aubes courbes une courbure convenable, sans trop les alonger, en même temps que la somme des plus courtes distances de l'une à l'autre excède convenablement celle des orifices d'écoulement. C'est donc à ces proportions que j'ai cru devoir m'arrêter après plusieurs autres combinaisons graphiques de courbes et de largeurs de roues. L'expérience a prouvé que ce choix donne de bons résultats.

17. 2° *La position de l'extrémité extérieure des aubes*

courbes. Nous avons vu que la position des courbes dépend de la largeur de la roue ; or, dans le rapport 0,70 adopté pour les petites roues, et celui 0,83 pour les grandes, les aubes qui donnent le degré de courbure le plus convenable, et le rapport voulu entre les orifices de sortie de la roue et ceux de la vanne, ont leur extrémité extérieure à une distance *ig* du point où la tangente du premier élément de la courbe coupe la circonférence extérieure égale aux $\frac{2}{5}$ de *gm*, distance des points où la tangente et sa perpendiculaire menée par le point *a* coupent la circonférence extérieure de la roue. Le point *i* étant déterminé et la théorie prescrivant de faire la courbe *ai* tangente en *i* à la circonférence de la roue, il faudrait que le centre du cercle osculateur se trouvât sur le rayon *oi* ; mais alors, comme on l'a déjà remarqué, le dégagement ne se ferait pas facilement, quoique son introduction dans la roue par la circonférence intérieure et son expulsion par la circonférence extérieure soient, de tous les moyens possibles, celui qui paraît se prêter mieux à ce dégagement ; il convient donc d'ouvrir un peu l'angle en *i* formé par la courbe et la tangente à la circonférence de la roue, et de le faire de 10 à 15° au plus, au lieu de 0° que prescrit la théorie.

Il en résultera, il est vrai, la perte d'une certaine portion de la force vive de l'eau ; mais, compensée par l'avantage d'un dégagement facile, cette perte est peu considérable ; on peut, en effet, se convaincre, en calculant pour divers cas extrêmes, l'expression

$$m\left(V^2 - 2vr' \sin.\alpha V + v^2 r''^2\right) + v^2 r''^2 \cos.^2 - 2vr'' \cos.\delta \sqrt{V^2 - 2vr' \sin.\alpha V + v^2 r''^2},$$

Qui (12) donne la force vive emportée par l'eau à sa sortie de la roue ; que *v* variant autant qu'on voudra dans les li-

mites du possible et ϑ étant supposé même de 15°, la perte occasionnée par le défaut de tangence de l'aube courbe à la circonférence de la roue n'atteint pas le $\frac{1}{30}$ de la force vive totale possédée par l'eau.

De cette manière il sera facile de tracer entre les points *a* et *i*, au moyen d'un ou de plusieurs arcs de cercle, la courbe *ai* tangente en *a* à la résultante des vitesses de l'eau du cercle intérieur de la roue, et faisant avec la circonférence extérieure un angle au dessous de 15°.

Au surplus, dans l'instruction pratique qui formera la dernière partie de ce Mémoire, j'indiquerai le moyen mécanique que j'ai adopté pour tracer ces courbes, afin de les obtenir bien continues, convenablement arrondies, et surtout d'éviter les jarrets ou défauts de continuité résultants des raccords mal faits entre les arcs de cercle que pourraient employer des ouvriers peu intelligents.

18. 3°. Quant au nombre d'aubes courbes à donner à la roue, il me semblait devoir dépendre de leur hauteur, et celle-ci de la dépense d'eau que pouvait comporter le diamètre de la turbine.

Il est évident, en effet, que la surface horizontale de tous les compartiments doit être beaucoup plus grande que la somme des orifices de sortie de l'eau, parce que, s'il en était autrement, il y aurait là un véritable étranglement qui, empêchant l'alimentation complète de ces orifices, ne permettrait pas que toute la pression de l'eau supérieure se communiquât aux parties qui vont agir sur la roue; il y aurait des changements brusques de direction des filets sur le fond des compartiments, des chocs, des jaillissements, en un mot, un désordre complet dans le mouvement de l'eau.

On sent aussi que plus les orifices sont petits relativement

à la surface des compartiments, plus l'eau y descendra lentement, plus la pression sera grande et le mouvement de l'eau régulier.

Je fais donc constamment l'aire des orifices de sortie de l'eau beaucoup plus petite que la surface des compartiments, ou plutôt que celle du cercle intérieur de la roue, surface d'après laquelle je règle la hauteur de ces orifices, ainsi que celle des aubes courbes qui se trouvent tout proche et vis à vis de ces orifices, laquelle doit être à peu près la même. Il faut seulement faire les aubes courbes un peu plus hautes que la plus grande ouverture de vanne, afin d'être sûr qu'aucun filet ne s'échappe sans exercer son action.

D'après cela, le nombre des aubes courbes à employer que je choisis est celui qui laisse entre deux aubes consécutives un espace circulaire à peu près égal à la hauteur des aubes; et je place pour deux ou trois aubes courbes au plus, selon leur écartement plus ou moins considérable, une courbe conductrice, de sorte que le nombre des compartiments distribuant l'eau dans la roue est moitié de celui des aubes courbes pour les roues qui n'en ont que dix-huit à vingt quatre, et le tiers quand le nombre s'élève au dessus.

19. Pour largeur des orifices de sortie de l'eau, je prends la plus courte distance entre l'extrémité d'une courbe conductrice et la convexité de la courbe suivante; le produit de cette distance, par le nombre des aubes courbes, donne la largeur des orifices d'écoulement; quand les courbes sont en tôle, cette largeur, ne différant pas beaucoup du diamètre intérieur de la roue d, multiplié par $1,4$, peut donc être comptée comme égale à

$$1,4\,d.$$

La hauteur des orifices étant représentée par e, on a pour

la surface des orifices de sortie

$$1,4de.$$

La surface du cercle intérieur de la roue est

$$\frac{\pi}{4}d^2 = 0,785\ d^2.$$

Elle doit être, d'après ce qui prédède, au moins quatre fois aussi grande que celle des orifices de sortie.

20. Maintenant appelant

F la force à produire exprimée en kilogrammes élevés à 1 mètre par seconde;

H la hauteur de la chute en mètres;

m le rapport de contraction de la veine fluide;

n le rapport de l'effet utile à la quantité d'action dépensée;

M la quantité d'eau en mètres cubes à introduire dans la roue;

On a

$$\frac{F}{1000\,H.n} = M.$$

La vitesse de l'eau étant $V = \sqrt{2gH}$, il faudrait que l'on ait

$$\frac{M}{m.V} = 1,4\,de.$$

De plus, la surface du cercle intérieur de la roue, égale à $0,785\ d^2$, devant être au moins quatre fois aussi grande que l'aire des orifices de sortie, on aura

$$0,785\ d^2 = 5,6\,de;$$

d'où

$$e = 0,14\,d.$$

Pour déterminer le plus petit diamètre intérieur d à donner à la roue, on a

$$M = 1,4\,d\,e\,m\,V = 0,196\,d^2\,m\,V:$$

D'où l'on tire

$$d = \sqrt{\frac{M}{0,196\, m V}}.$$

Ainsi se trouve déterminé le diamètre intérieure de la roue. Son diamètre extérieur, pour les roues au dessous de 2 mètres de diamètre, devant être $\frac{100}{70} d$, et pour les roues plus grandes ($\frac{100}{80}$ ou $\frac{100}{83}$) d, il sera facile de trouver sa valeur que, d'ailleurs, l'on pourrait faire varier un peu entre les limites ci-dessus, si le cas l'exigeait.

La hauteur dont la vanne doit être levée au maximum étant $0,14\, d$ on a

$$e = 0,14 \sqrt{\frac{M}{0,196 \,.\, m V}}.$$

Ces formules, jointes à ce qui a été dit précédemment sur la valeur de l'angle α, celle de l'angle δ, la largeur des couronnes de la roue, la hauteur des aubes courbes, leur position, leur nombre et celui des diaphragmes conducteurs, complètent les données d'après lesquelles j'établis mes turbines. Nous allons donner maintenant la description de leurs différentes parties et suivre la marche progressive des diverses constructions exécutées.

DEUXIÈME PARTIE.

Description des turbines hydrauliques exécutées en grand, d'après les principes contenus dans la première partie.

Turbine établie en 1827 aux usines de Pont-sur-l'Ognon, département de la Haute-Saône.

21. Cette turbine, destinée d'abord à un simple essai pour m'éclairer sur la quantité d'action que je pouvais attendre de cette disposition, d'après les expériences au frein qu'elle

a subies , a été immédiatement appliquée, comme moteur, à une scierie, un tour et une forte meule.

Placée sur un cours d'eau abondant, très sujet aux variations de niveau, et ne présentant qu'une petite chute, dans l'incertitude du succès, en même temps que pour donner toute la solidité désirable à cette machine, j'ai voulu la construire avec économie. Ainsi, après avoir supprimé tout ce qui n'était pas indispensable pour atteindre le but désiré, la turbine dont il s'agit n'offre de particulier que sa construction, la manière d'y introduire l'eau et de l'en faire échapper.

La vanne ordinairement employée pour augmenter ou diminuer la dépense d'eau, les appareils pour la lever ou la baisser, en un mot tous les accessoires qui ne contribuaient pas directement aux expériences que je voulais faire n'ont point été construits. Sagissant seulement de déterminer les circonstances dans lesquelles la machine pouvait agir, et les avantages ou les inconvéniens résultant de son action, je pensai qu'il ne serait nécessaire de songer aux accessoires qu'après avoir obtenu la réussite de l'objet principal.

Planche 2, *fig.* 1re. Plan de la turbine vue du dessus de la huche ou réservoir A, communiquant à volonté, par deux fausses vannes *aa*, avec le bief supérieur ou canal de dérivation B, qui alimente d'eau les usines.

Fig. 2. Coupe de la machine par un plan vertical parallèle à la direction du coursier ou canal de fuite C, et passant par l'axe de la roue.

Fig. 3. Élévation de la roue et de la huche ou réservoir en bois, vue dans le sens perpendiculaire à l'axe du canal de fuite.

Fig. 4. Coupe de la partie inférieure de la turbine, dessinée sur une plus grande échelle.

Les mêmes lettres désignent les mêmes objets dans ces uatrefigures.

d, Turbine placée au dessous de la huche ou réservoir, calée solidement sur un arbre *e* en fonte et portant à son extrémité inférieure un pivot acéré qui tourne dans une crapaudine à fond d'acier. L'arbre *e* tourné, par sa partie supérieure, entre deux coussinets en cuivre, assujettis solidement dans deux pièces de bois *ff*, fixées de part et d'autre dans les murs latéraux.

La roue, construite en fonte et d'une seule pièce, exempte de toutes saillies qui tendraient à déplacer l'eau pendant son mouvement dans ce fluide, est composée d'un fond en partie sphérique D, percé à son milieu d'un trou pour laisser passer l'arbre. Ce fond ou calotte fait corps avec un rebord ou disque circulaire *d'd'*, dont le pourtour, divisé en dix-huit parties égales, porte à ses points de division les aubes courbes *d''d''d''d''* destinées à recevoir l'action de l'eau. Ces aubes placées verticalement sur le disque inférieur, qui est parfaitement horizontal, sont recouvertes d'un disque circulaire supérieur, qui a pour largeur celle du disque inférieur auquel il n'est fixé que par les aubes courbes. Le milieu de ce disque est un espace circulaire entièrement vide, permettant au fond F ou plateau circulaire d'entrer dans la roue jusqu'un peu au dessus de son disque inférieur, sans la toucher d'aucun côté.

Sur le fond circulaire et horizontal F est placé, pour faire corps avec lui, un noyau F', lequel s'assemble sur un long tuyau *g*, de manière à ne former qu'une seule pièce avec lui.

Le tuyau *g* ainsi fixé au fond F s'élève verticalement, et se trouve serré, à sa partie supérieure, entre deux moises GG, qui l'empêchent de tourner et de descendre au dessous du point exigé, ainsi que le fond F qu'il supporte.

Sur le fond F sont placés à égales distances, et solidement attachés à sa surface et contre le noyau F', neuf dia-

phragmes courbes et verticaux F'' F'', destinés à conduire l'eau dans les compartiments de la roue, et auxquels je donne le nom de *courbes conductrices* ou de *courbes fixes*, puisqu'ils doivent rester immobiles. Ces courbes sont disposées en sens inverse des courbes mobiles.

Au contraire, les aubes courbes *d''d''* de la roue tournant avec elle seront quelquefois désignées sous le nom de courbes mobiles.

Les diaphragmes ou courbes conductrices s'élèvent jusqu'en F'', *fig.* 2 et 4, au dessus du disque supérieur de la roue *d*, et au dessous du plancher, ou fond de la huche A.

Ce plancher est percé d'un trou circulaire qui permet le passage du tuyau *g*, que je nomme *porte-fond*, dans lequel l'arbre vertical *e* de la roue se meut librement, et établit la communication entre le réservoir A, les compartiments du fond F et l'espace compris entre les deux disques de la roue.

La communication entre le réservoir et le fond F s'établit par une espèce de petit cylindre ou bec vertical, dont les bords sont arrondis intérieurement, lequel entre dans la roue jusqu'à quelques millimètres au dessous de la surface inférieure du disque supérieur solidement fixé au plancher, et fait corps avec lui.

La communication des compartiments ou courbes fixes avec l'intérieur de la roue, sur toute la hauteur des courbes mobiles, a lieu par des orifices latéraux formés par les diaphragmes, le fond F et le dessous du petit cylindre ou bec *b*.

Examinons maintenant la marche de l'eau et la manière dont elle exerce son action dans la roue.

Les deux fausses vannes *aa* étant levées entièrement, l'eau du canal B se précipitera dans le réservoir ou huche A, d'où

elle ne peut s'échapper que par les orifices latéraux en communication avec l'intérieur de la roue ; mais ces orifices, étant très petits par rapport aux ouvertures des vannes *aa*, ne peuvent débiter toute l'eau fournie par ces vannes ; il s'ensuit que le niveau de l'eau s'élève dans la huche A à très peu près à la même hauteur que dans le canal B.

Alors l'eau inférieure, pressée par toute la hauteur de la charge H, s'échappe latéralement ; mais toutes les molécules affluant vers les orifices, ne pouvant se mouvoir en ligne droite à cause de l'obstacle qu'elles rencontrent sur les courbes fixes, suivent ces courbes jusqu'à leur extrémité, et de là elles s'introduisent dans la roue sous la direction désirée et avec une vitesse

$$V=\sqrt{2gH}.$$

L'eau pressant, en vertu de cette vitesse, les courbes mobiles sur lesquelles elle glisse avant de s'échapper par le pourtour extérieur de la roue, les oblige ainsi à céder à son action, et fait tourner la turbine.

22. On remarquera que le cylindre ou bec *b* a une épaisseur considérable pour éviter la contraction de la veine-fluide et obliger l'eau à sortir horizontalement et à parcourir, pressée seulement par derrière, un certain espace pendant lequel elle prend bien la direction voulue.

Si la paroi supérieure des orifices était trop mince, cet effet n'aurait pas lieu et l'eau n'entrerait point dans la roue sous l'angle *a*, dont la valeur est rigoureusement exigée par la théorie.

Telle est la disposition à laquelle j'ai cru devoir m'arrêter pour tenter l'application en grand du principe des turbines.

La roue, ainsi montée, a coûté près de 500 francs. L'expérience a été consultée pour savoir quelle serait la force de

la machine, quelle fraction de l'effet théorique de l'eau elle est susceptible de fournir hors de l'eau ou immergée à différentes profondeurs.

A cet effet, une poulie et un frein ont été placés à la partie supérieure de l'arbre ; le levier du frein, garni d'un arc de cercle destiné à lui conserver une longueur constamment uniforme, était lié par une corde passant sur une poulie de renvoi à un plateau de balance sur lequel on plaçait les poids dont on chargeait la roue.

Les précantions prises dans l'emploi du frein, toutes les fois que j'ai employé cet instrument, sont indiquées dans une notice insérée dans le *Bulletin* de la Société industrielle de Mulhausen, nº 6, page 14.

Des expériences sur cette turbine ont été faites en présence de M. *Thirria*, ingénieur des mines de la Haute-Saône, qui a bien voulu y prendre part et se charger d'une partie des opérations.

Les résultats obtenus dans les trois expériences les plus rapprochées du *maximum* ont donné une quantité d'effet utile égale aux 0,83 de la dépense théorique, la roue étant immergée ou non immergée.

Dans des expériences postérieures à celles faites concurremment avec M. l'ingénieur *Thirria*, et consignées dans la troisième partie de ce mémoire, le rapport de l'effet utile à la quantité d'action dépensée a encore augmenté.

Turbine établie pour mettre en jeu la machine soufflante du fourneau de Dampierre (Jura) dépendant des forges de Fraisans.

23. Cette turbine appliquée à un cours d'eau alimenté par un étang fonctionne sous une chute variable de 3 à 6 mètres, selon la quantité d'eau accumulée dans l'étang.

Sa disposition, représentée Pl. 3, *fig.* 1, 2, 3 et 4, diffère de la première qui vient d'être décrite, non seulement par la hauteur de la chute, mais encore par l'addition d'une vanne régulatrice, à l'aide de laquelle on augmente ou diminue la force de la machine en y introduisant, selon le besoin, une plus ou moins grande quantité d'eau; elle en diffère encore par le moyen d'amener l'eau dans un cylindre en fonte A fermé hermétiquement à sa partie supérieure, et faisant ici les fonctions de la huche ou réservoir en bois désigné par la même lettre, Pl. 2, et enfin par plusieurs autres accessoires qui vont être décrits.

La *fig.* 1 représente en élévation la roue motrice, le cylindre en fonte A sous lequel elle est située, le mécanisme placé sur le couvercle de ce cylindre pour lever ou baisser la vanne circulaire régulatrice, le pignon conique ou roue d'angle qui termine l'extrémité supérieure de l'arbre de la roue, et au moyen duquel le mouvement de cet arbre est communiqué à la machine soufflante par une roue d'angle qui s'engrène avec lui.

On voit également dans cette figure la caisse B en communication avec le tuyau de bois *a a*, qui amène l'eau de cette caisse dans le cylindre A, d'où elle passe ensuite dans la roue.

La *fig.* 2 est le plan de la machine vue en dessus.

Les *fig* 3 et 4 représentent, sur une échelle double, la première, la coupe de la machine par un plan vertical passant par l'axe et perpendiculaire à la direction du canal de fuite; la seconde, la vue en plan, le couvercle étant supposé enlevé de la traverse qui fixe le tuyau porte-fond du fond du cylindre, des compartiments à courbes fixes et de la roue situées au dessous, indiquée par des traits ponctués.

dd est la turbine en fonte garnie de vingt-sept aubes

courbes aussi en fonte et d'une seule pièce avec la roue ; sa forme est analogue à celle de la turbine représentée Pl 2.

e, Arbre en fer forgé tournant avec beaucoup de jeu dans le porte-fond disposé perpendiculairement à la roue.

F, Fond circulaire avec ses neuf courbes fixes *c c*, et le noyau central CC traversé par le tuyau porte-fond *g*, sur lequel le noyau est calé sans faire corps avec lui.

G, Traverse en fonte calée dans des encastrements ménagés dans le cylindre A. Un manchon *h*, aussi en fonte et en deux pièces pour pouvoir s'engager facilement dans le collet du tuyau *g*, se place autour de ce tuyau dans une ouverture cylindrique à rebords en dessous, pratiquée au milieu de la traverse G, et munie d'un épaulement à sa partie supérieure. (Voyez *fig* 3 et 4.) C'est cet épaulement qui sert à supporter le tuyau et le fond F. Le tuyau étant placé verticalement au centre de la machine, les deux parties du manchon *h* qui embrasse sa partie épaulée sont fortement calées dans la traverse G, de manière à empêcher le tuyau et le fond de tourner et de se déranger. Cette traverse a remplacé, dans la turbine dont il s'agit, les moises de bois GG, Pl. 2, et sera dorénavant appelée chaise ou palier du tuyau porte-fond.

La traverse G est percée de deux trous *i*, à travers lesquels passent les tiges ou tringles de fer *k*, taraudées à leur partie supérieure, servant à baisser ou élever la vanne circulaire J, au moyen de trois petits pignons *lll*, taraudés pour servir d'écrous aux trois tringles *kk*.

D est une roue dentée tournant à frottement doux sur un collier *m* calé à l'extrémité supérieure du tuyau *g*. Ce collier, serré par quatre vis *nn* sur une garniture de chanvre placée autour du tuyau dans un petit cylindre s'élevant au milieu

du couvercle K, empêche, à la manière des boites à étoupes, la communication de l'intérieur à l'extérieur du cylindre en fonte A, en sorte que l'eau ne peut pas s'échapper par là.

La roue D reçoit le mouvement d'un pignon E, sur l'arbre *o* duquel est montée une manivelle H pour le faire tourner ; le mouvement transmis aux pignon *ll* fait monter ou descendre les tringles *kk*, et par suite la vanne J à laquelle elles sont attachées.

K, Convercle en fonte du cylindre A ; il y est fixé par des boulons, et le joint existant entre les deux est fait de manière à ne pas laisser couler l'eau ; ce couvercle porte, pour le consolider, douze nervures et un cercle saillant près des bords et se raccordant avec elles.

L, Fond de raccord du cylindre avec la vanne J enveloppant les courbes conductrices du fond F. Cette pièce n'est pas indispensable, mais elle évite en grande partie la contraction qui aurait lieu près de l'entrée de l'eau dans les compartiments.

M, Tubulure pratiquée dans le cylindre pour le réunir à la conduite *aa*, qui sert de passage à l'eau de B en A.

NN, Cadre en charpente fixé dans la maçonnerie, sur lequel le réservoir A est posé.

O, Collier qui embrasse le tourillon supérieur de *e* et lui permet de tourner dans ses coussinets.

P, Patin en fonte dans lequel est logée la crapaudine; ce patin est disposé de manière qu'un manchon cylindrique, tourné intérieurement et enveloppant juste la crapaudine, empêche, celle-ci de s'écarter du centre autour duquel le manchon, dressé au moyen de vis de pointage, a été calé dans le patin sans gêner son mouvement vertical; de sorte

que la clef p pyramidale sur une face soutient la roue en s'enfonçant dans le patin.

Q est la crapaudine et q le pivot de la roue.

L'arbre o de la manivelle H, qui sert à manœuvrer la vanne circulaire J, est tenu dans un support en fonte S.

La vanne J, garnie de plusieurs bandes de cuir sur les bords, est arrondie et rendue plus épaisse au moyen d'un cercle de bois attaché à la fonte par des vis; le motif de cette recharge intérieure a été déduit (22).

24. Pour mettre la machine en jeu, on ouvre la fausse vanne placée à l'entrée du tuyau de bois a a ; l'eau coule le long de ce tuyau, remplit le réservoir A et exerce sur toutes ses parties une pression en raison de la hauteur de la chute; les choses étant ainsi préparées, si l'on tourne, au moyen de la manivelle H le pignon E de droite à gauche, il fera tourner la roue centrale D, qui, à son tour, entraînant les pignons-écrous l l, fera monter les trois tringles k k et la vanne J.

Alors, les orifices d'écoulement latéraux, formés, comme il a été expliqué (21) par les courbes fixes, le fond et le dessous de la vanne s'ouvrent sur toute la circonférence intérieure de la roue; l'eau, pressée par toute la hauteur de la colonne supérieure, s'échappant avec une vitesse due à la hauteur de la chute, et la direction donnée par les courbes conductrices, traverse la roue en pressant fortement les aubes courbes qu'elle force bientôt à prendre une vitesse dépendant de la résistance qui lui est opposée, et à communiquer ainsi à l'arbre le mouvemet nécessaire que le pignon R transmet à la machine soufflante.

25. La disposition dont on vient de parler permet, comme on voit, d'utiliser avec une turbine analogue à une chute

d'une haut ur quelconque, sans que l'arbre ait une longueur plus grande qu'il n'est nécessaire.

Par ce moyen, on peut à volonté prendre le mouvement à toute hauteur, placer la roue (qui pour une chute un peu grande n'est jamais embarrassante) dans tel endroit de l'établissement que l'on voudra choisir.

Le moteur ainsi construit peut, sans inconvénient, être placé au milieu d'une salle et n'occuper, pour une force de huit à dix chevaux et une chute de 4 à 5 mètres, que la place d'un grand poêle ou calorifère ordinaire.

26. La principale attention à avoir dans l'établissement de la machine est de donner à la conduite d'eau du bief supérieur ou réservoir B un diamètre capable de fournir, sans une trop grande perte de chute, pour vaincre les frottements, imprimer la vitesse, etc., le volume d'eau que la force exigée prescrira.

Les formules pour l'établissement de ces sortes de conduites étant toutes calculée dans les tables de M. *Prony*, il serait superflu de les répéter ici.

Je recommanderai seulement de faire ces conduites toujours un peu plus grandes que le calcul l'indiquera, afin que les matières qui pourraient s'attacher à leurs parois ne gênent pas, après quelques années, le mouvement de l'eau d'une manière préjudiciable à la machine.

Turbine de la force de 50 *chevaux-vapeur, établie aux forges de Fraisans.*

27. Les détails contenus dans les deux descriptions précédentes faciliteront l'intelligence de cette troisième turbine, dont je passerai rapidement en revue les parties semblables à celles des deux premières, pour fixer l'attention sur quelques arrangements nouveaux.

Cette turbine est représentée avec ses accessoires, Pl. 4, *fig.* 1, 2, 3, 4, 5, 6 et 7. La *fig.* 1 ne présente qu'une moitié de la roue et du coursier, l'autre moitié étant tout à fait semblable.

d, La roue avec ses trente-six aubes courbes; elle est percée au fond, en forme de calotte sphérique, de six trous circulaires, pour la facilité du moulage et de la pose.

D, Vanne circulaire avec ses garnitures de bois entre lesquelles sont engagées les courbes fixes.

E, Cylindre alésé dans lequel joue la vanne garnie de cuir pour empêcher l'eau de s'échapper; il porte un large rebord percé de trous, dans lequel passent les boulons qui le tiennent inébranlable et parfaitement joint sur le plancher.

e, Arbre de la roue portant à sa partie inférieure un pivot *p*, qui tourne dans une crapaudine 5, engagée dans un patin en fonte P, et pouvant s'élever ou s'abaisser par le moyen de la traverse en fer 7, des balanciers 9 et des chaînes 12 s'enroulant sur un cylindre 13.

F, Fond à courbes fixes au nombre de 12, dirigeant l'eau dans la roue, sous l'angle voulu.

f, Collier en fonte dans lequel estmaintenu, au moyen de deux coussinets, le tourillon supérieur de l'arbre. Ce collier est représenté en plan *fig.* 7.

g, Tuyau porte-fond.

G, Chaise ou palier du tuyau *g*. Cette chaise est représentée, *fig.* 6, avec le manchon en deux pièces qui retient le tuyau *g*.

iii, Trois tiges en fer pour lever la vanne D; elles sont terminées par une partie filetée passant dans des écrous calés au centre des trois roues *i'i'i'*, qui engrènent dans une roue dentée centrale C; cette roue tourne à frottements doux sur

un collier en fonte 14, calé au centre de la machine sur l'extrémité supérieure du tuyau *g*.

Les trois vis des tiges *iii* portent chacune un petit chapeau qui recouvre l'écrou quand la vanne circulaire est fermée, et empêche les roues *i'i'i'* de s'enlever et de se séparer des vis, si l'on continuait à tourner lá manivelle plus qu'il ne faut.

I, Pignon monté sur l'arbre vertical *h*, portant la roue d'angle supérieure *k*. Ce pignon, en tournant, entraîne la roue centrale C, qui commande les trois roues *i'i'i'*, garnies chacune d'un écrou à quatre filets; ces écrous, tournant avec elles, forcent les tiges *iii* à s'élever ou à s'abaisser et opèrent ainsi le jeu de la vanne.

Les roues *i'i'i'*, ou plutôt les écrous qui y sont fixés, ont pour support trois petits galets *a*, fixés dans une monture en fonte *c*; cette disposition diminue considérablement l'effort nécessaire pour faire jouer la vanne.

m, Manivelle fixée sur l'arbre horizontal *n*, portant une petite roue d'angle *r*, qui commande la roue d'angle horizontale *k*.

C'est en tournant cette manivelle que l'on fait monter ou descendre la vanne pour obtenir la force dont on a besoin.

N, Plancher de la huche ou réservoir sous lequel est placée la turbine : il est percé d'un trou circulaire donnant passage au cylindre E, à la vanne D, etc. C'est par ce trou que l'eau venant de la partie supérieure communique avec le plateau à courbes fixes F, et se rend de là dans la roue qui chausse le fond F, ses diaphragmes et même la vanne quand elle n'est pas entièrement levée jusqu'à la hauteur du disque supérieur.

Le plancher N, horizontal tout autour du trou circulaire

dont il a été question, est incliné vers le seuil de la vanne de garde destinée à empêcher, quand il le faut, les eaux du Doubs d'arriver par le canal voûté B dans la huche de la turbine, afin de se raccorder avec ce seuil établi pour les roues de bois auxquelles on a renoncé.

M, Murs en pierre de taille entourant le bassin de la turbine, et faisant partie de la maçonnerie du bâtiment dans lequel elle est placée.

Q, Corroi, partie en marne battue et partie en béton, pour remplir le vide entre le mur de tête d'eau et celui d'enceinte circulaire du bassin de la roue.

U, Charpente des vannes de garde supérieures.

V, Vanne de garde inférieure.

V', Rainure pratiquée aux deux murs latéraux dans lesquels elle joue. Cette vanne de garde étant fermée, ainsi que celle de la tête d'eau U, le bassin de la turbine peut être mis à sec, ce qui permettra de faire les réparations nécessaires.

Au moyen de cette vanne, on peut immerger la roue autant qu'on le désire et la mettre ainsi à l'abri des gelées auxquelles d'ailleurs le bassin facile à fermer, dans lequel elle se trouve, la rend peu sujette, même sans cette double précaution.

X, Charpente sur laquelle repose la chaise ou palier du tuyau porte-fond.

Z, Charpente sur laquelle est établie la machine soufflante et son mécanisme, ainsi que le plancher du bâtiment.

x, Colonnes de la charpente des cylindres à air.

S, Bâtis en fonte fixé sur les colonnes *x*, pour maintenir les tourillons des arbres en fer *n* et *h*, portant les engrenages d'angle *k* et *r*.

Y, Pignon d'angle transmettant, par une roue d'angle plus grande, au mécanisme de la machine soufflante, le mouvement de la roue.

28. La turbine de Fraisans, représentée en plan, coupe et élévation, *fig.* 1, 2, 3, Pl. 4, est en fonte; mais les aubes courbes dont elle est garnie, au nombre de trente-six, au lieu d'être de la même pièce avec les disques et la calotte sphérique, sont en tôle forte et ajustées à boulons et écrous sur des rebords en saillie que l'on a ménagés dans la fonte séparée des deux disques. Le fond F a été exécuté de la même manière, et les courbes fixes qu'il porte ont été aussi fixées avec boulons et écrous.

Cet ajustage avec boulons et écrous à têtes saillantes est défectueux dans une roue de cette espèce où l'eau qui agit en glissant ne doit rencontrer aucun obstacle dans sa marche. J'avais disposé mon modèle pour éviter ce défaut; mais les fondeurs, à qui j'avais confié l'exécution de ces deux pièces, et qui m'avaient d'abord promis de se conformer à mon intention, n'ayant ensuite pas voulu courir la chance de les manquer à la fonte qu'ils supposaient très difficile, m'ont forcé, après plus de quatre mois d'attente, de consentir à l'assemblage par boulons qu'ils me proposaient.

Les têtes du moins devaient être arrangées par eux pour n'offrir aucune saillie; mais le temps de la livraison approchant, cette précaution n'a pu être prise. On verra, dans les expériences, l'influence de cette cause de perte pour les petites ouvertures de vannes.

29. La roue dont il s'agit, construite d'après les principes précédemment expliqués, est percée au milieu d'un trou cylindrique *oo fig.* 2 et 4, sur le pourtour duquel sont quatre liteaux saillants régnant depuis la surface supérieure jusqu'à

$0^m,05$ du bord inférieur de l'œil ou canon de la roue. Dans cet œil entre par dessous, de manière à faire corps avec lui, une boîte cylindrique en fonte 1 . 1, garnie extérieurement de quatre encastrements à rebords inférieurs pour recevoir et supporter, au moyen des quatre liteaux saillants, la roue dans laquelle il se cale solidement.

A l'intérieur, la boîte 1.1 est percée d'un trou conique, dont la large base est en dessous. Ce trou, tourné bien exactement, reçoit un manchon 2 . 2, coupé en deux parties égales dans le sens de l'axe, tourné à l'extérieur avec la forme conique intérieure de la boîte 1.1, et, intérieurement, avec la forme cylindrique et épaulée de l'arbre *e* de la roue.

D'après cette disposition, l'arbre est embrassé par le manchon 2.2, reposant sur le rebord existant à la partie inférieure de cet arbre, lequel est lui-même contenu dans la boîte conique 1.1, calée dans la roue et fixé solidement bien droit et au centre, si l'on a calé la boîte 1.1 dans le trou *bo* avec les précautions ordinaires.

Cet assemblage permet de séparer promptement la roue de l'arbre en l'élevant et la maintenant à quelques pouces, faisant ensuite descendre l'arbre et le manchon en deux pièces que sa forme conique permet de desserrer facilement; les deux parties du manchon se détachent de l'arbre, et l'œil de la boîte conique 1.1 laisse alors passer le collet ou épaulement de l'arbre que l'on peut ainsi retirer.

Toutes les parties ajustées par des joints tournés étant circulaires, si on les laissait dans cet état, la roue pourrait tourner indépendamment de l'arbre.

Pour l'y réunir et rendre le mouvement angulaire de l'un dépendant de celui de l'autre, quatre languettes ou prisonniers en fer sont placés dans les joints, de manière à être

encastrés de moitié de leur épaisseur dans chacune des pièces contiguës. On voit ces prisonniers, *fig.* 4.

La réunion du fond F au tuyau porte-fond *g* se fait à peu près de la même manière, si ce n'est que le fond F porte lui-même un cône qui sert de boîte dans laquelle entre juste le manchon en deux pièces 3.3, *fig.* 1, 2 et 5.

Ce manchon est évidé au milieu et ne touche au tuyau porte-fond que par deux portées, tournées, laissées à ses extrémités.

Le même tuyau est muni de deux prisonniers en fe · qui empêchent ce manchon de tourner sur le tuyau *g*, par suite de la réaction de l'eau contre les courbes conductrices.

Le manchon est calé dans le noyau du fond F; et ils sont retenus l'un et l'autre par deux liteaux qui empêchent tout mouvement angulaire du fond sur le tuyau.

Le fond F est représenté vu au dessous, *fig.* 5, avec les douze nervures F′ servant à le consolider.

A la partie supérieure du noyau et du manchon est fixé un cercle de bois 4.4, taillé en forme de bourlet arrondi, pour éviter en partie la contraction qu'occasionnerait la saillie de ce noyau sur le tuyau.

L'ajustage dans la chaise ou palier G du tuyau porte-fond se fait à peu près de la même manière, ainsi qu'on le verra *fig.* 2 et 6, et qu'il a déjà été expliqué (23) à l'occasion de la roue à grande chute de l'usine de Dampierre; seulement on a, dans cette partie de la grande turbine, employé le moyen des prisonniers qui n'étaient pas nécessaires dans la petite pour empêcher le tuyau *g* et le fond F de tourner, le serrement du manchon sur le collet du tuyau ayant été jugé suffisant.

Au nombre des dispositions nouvelles que j'ai à faire con-

naître et qui n'existaient pas dans les deux turbines précédentes, est l'appareil à élever ou abaisser la roue pour éviter les dérangements que pourrait causer l'usure du pivot *p* de l'arbre *e*.

Le corps du patin P, à l'exception de sa forme extérieure qui est carrée et de ses dimensions plus grandes, est semblable intérieurement à celui de la deuxième turbine; comme lui, il reçoit une crapaudine en cuivre 5, à culot d'acier au fond, dans laquelle tourne le pivot *p* de l'arbre. Cette crapaudine, tournée cylindrique extérieurement, entre à frottement doux dans un manchon alésé 6, le long duquel elle monte et descend bien verticalement suivant l'axe de la roue: ce manchon, carré extérieurement, est calé fortement dans le patin qui, lui-même, est solidement boulonné sur le fond du coursier en charpente.

Au dessous de la crapaudine est une rainure dans laquelle se loge une forte traverse horizontale en fer 7, ayant un tourillon qui, au moyen de deux autres pièces de fer 8, suspendues verticalement chacune à un balancier 9, supporte la crapaudine (qu'il empêche de tourner), le pivot, et, par conséquent, l'arbre et la roue.

Les deux balanciers 9, en fonte, placés l'un à droite, l'autre à gauche de la roue, sont montés sur un axe commun en fer 10, lequel peut osciller sur des coussinets assemblés sur deux joues ou montants coulés avec le patin P pour servir de supports à cet axe.

A l'extrémité opposée à l'axe, les balanciers sont réunis par une traverse ou boulon qui les empêche de s'éloigner et de s'approcher. Cette traverse est liée par un crochet fermé par une clavette à deux chaînes 12, s'enroulant sur un petit cylindre 13, armé à ses extrémités d'une roue à rochet.

En enroulant ou en déroulant les chaînes au moyen d'un levier en fer, on élève ou on abaisse la roue, et l'on peut ainsi la fixer à la hauteur convenable, comme cela a lieu pour les meules tournantes des moulins.

30. La mise en mouvement de la turbine de Fraisans a lieu de la même manière que les deux autres. On ouvre entièrement les vannes de garde en amont et en aval quand on ne veut pas immerger la roue plus qu'elle ne l'est naturellement.

Le réservoir A s'emplit jusqu'au niveau que l'écoulement permet à l'eau de prendre, lequel, pour les dépenses ordinaires de $1^m,50$ à 2 mètres par seconde, est sensiblement le même que celui du bassin, et ne baisse que de $0^m,05$ environ pour une dépense de 5 mètres cubes par seconde, dont on n'aura besoin que lorsque l'eau d'amont, s'élevant de plusieurs mètres au-dessus de son niveau ordinaire, quadruple et au delà la hauteur du profil de l'eau au dessus du plancher. Cette circonstance permet au canal de débiter une bien plus grande quantité d'eau sans que son niveau en soit altéré.

La huche ou réservoir A étant rempli, on tourne la manivelle *m* de gauche à droite ; la vanne se lève et la communication s'établit entre les aubes courbes de la roue du bief d'amont au bief d'aval. L'eau contenue et entrenue dans les compartiments du fond F, ne pouvant passer d'un niveau à l'autre sans agir sur les aubes, met celles-ci en mouvement et imprime à la roue une certaine quantité d'action que l'on recueille au moyen du pignon Y.

TROISIÈME PARTIE.

Expériences faites au moyen du frein de M. Prony, *sur les turbines hydrauliques, objets de ce mémoire.*

31. Après avoir successivement parcouru la théorie et la description de ces turbines, nous voici arrivés au point principal d'après lequel on peut juger si la question proposée est résolue.

Tout ce qui a été dit précédemment resterait sans intérêt si les résultats obtenus et consignés ci-après n'offraient pas un avantage marqué sur ceux des roues horizontales ordinaires, aussi désignées par quelques personnes sous le nom des turbines.

Les premières expériences faites sur une roue de cette espèce sont attestées par un procès-verbal de M. l'ingénieur des mines du département de la Haute-Saône.

Les résultats consignés dans ce procès-verbal, quoique conformes à ceux d'expériences précédentes, étaient trop saillants pour que je ne fusse pas curieux de les vérifier par de nouveaux essais faits avec soin.

Je fis donc établir en aval de la roue un barrage dont la crête était de niveau avec la surface de l'eau dans le bief supérieur; un peu en amont de ce barrage, une jauge graduée fixée contre la paroi du coursier devait indiquer la hauteur de la lame d'eau qui coulait sur le barrage lorsque la turbine marchait. (Voy. *fig.* 2, Pl. 2.)

Une roue à ailettes, très légère, tournant sur des pointes fines, était suspendue dans le coursier à la hauteur convenable pour mesurer la vitesse de l'eau au milieu du courant

et à 0,04 environ de la surface; l'axe de la roue était placé perpendiculairement au coursier et vis-à-vis la jauge.

Les observations duraient deux, trois et quatre minutes, pendant lesquelles on comptait le nombre des tours de la roue à ailettes et celui des tours que la turbine effectuait dans le même instant.

On observait sur la jauge la hauteur à laquelle le niveau de l'eau se maintenait dans le coursier en aval et la hauteur à laquelle elle s'établissait dans la huche ou réservoir d'amont A. La différence de ces deux niveaux donnait la hauteur de la chute.

On ôtait la charge appliquée au frein dont le rayon était constamment de $1^{m},225$.

Le nombre des tours, divisé par celui des minutes indiquant la durée des observations, donnait la vitesse en tours par minute; ce nombre, multiplié par $3^{m},20$, circonférence un peu plus grande que celle qui passerait par le milieu des ailes que nous avons regardée comme celle que décrivait le centre d'impulsion, donnait la vitesse de l'eau par minute. En divisant par 60, on a trouvé la vitesse par seconde, et comme cette vitesse parraissait être, à peu de chose près, la même jusque sur le barrage dont la crête était à $0^{m},123$ au dessus du fond, et que je voulais admettre dans la roue un petit retard occasioné par le frottement de son axe, je n'ai fait subir aucune réduction à la vitesse indiquée par la roue; je l'ai prise pour vitesse moyenne; ce qui, certainement, donne une petite erreur au préjudice de la turbine.

La largeur constante du canal, multipliée par la hauteur variable de la lame d'eau coulant dans le canal au dessus du barrage, et le produit par la vitesse moyenne, calculé comme il a été dit, donnaient le volume, et par suite le poids de l'eau débitée par la roue, en une seconde.

Ce poids en kilogrammes, multiplié par la hauteur de la chute, fournissait la quantité d'action dépensée.

D'un autre côté, le nombre de tours de la turbine et la charge du frein faisaient connaître l'effet utile produit; la division de cet effet par la quantité d'action dépensée indique le rapport entre ces deux quantités, rapport qu'il était important de connaître.

C'est de cette manière qu'a été dressé le tableau suivant :

32. *TABLEAU de quelques expériences faites en* 1827 *sur la turbine hydraulique établie aux usines de Pont-sur-l'Ognon.*

Nos d'ordre.	Charge d'eau ou chute	Vitesse de l'eau.	Vitesse de la circonférence extérieure de la roue.	Rapport de la vitesse de la roue à celle de l'eau.	Volume d'eau dépensé par seconde en litres.	Quantité d'action dépensée en kilog. élevés à 1 mè. par seconde.	Charge appliquée au frein à l'extrémité d'un rayon égal à $1^{m},225$.	Nombre de tours de la roue par minute.	Effet produit en kilogr. à 1 mè. par seconde.	Rapport de l'effet utile à la quantité d'action
	mètres	mètres	mètres.				kil.		kil.	
1	1,40	5,25	6,37	1,22	703	983	1,50	94	»	»
2	1,38	5,22	6,10	1,17	699	962	1,50	90	»	»
3	n'a	pas	réussi	»	»	»	»	»	»	»
4	1,38	5,22	5,40	1,04	614	848	23,50	80	241	0,28
5	1,38	5,22	5,32	1,02	598	826	33,50	78	335	0,41
6	1,38	5,22	4,46	0,85	507	700	43,50	66	368	0,53
7	1,38	5,22	4,07	0,78	461	636	53,50	60	411	0,65
8	1,38	5,22	3,83	0,73	430	594	63,50	56	455	0,77
9	1,11	4,67	5,30	1,13	603	669	»	78 $\frac{2}{3}$	»	»
10	1,13	4,71	5,12	1,09	582	660	1,50	76	»	»
11	1,23	4,93	5,95	1,21	675	830	0,50	88	»	»
12	1,21	4,87	3,33	0,70	384	464	63,50	50	407	0,88
13	n'a	pas	réussi	»	»	»	»	»	»	»
AUTRE SÉRIE.										
La roue étant immergée de $0^{m},65$										
14	0,95	4,31	3,83	0,89			28,50	56	205	»
15	0,95	4,31	3,48	0,81			33,50	51	219	»
16	0,95	4,31	3,29	0,76	n'a pas pu être		38,50	48	237	»
17	0,95	4,31	2,77	0,64			43,50	40 $\frac{1}{2}$	226	»
18	0,95	4,31	2,51	0,58	mesurée.		48,50	36 $\frac{2}{3}$	227	»
19	0,95	4,31	2,27	0,52			53,50	33 $\frac{1}{3}$	229	»
20	0,95	4,31	2,05	0,48			58,50	30	225	»
La roue immergée de $0^{m},51$.										
21	1,03	4,50	3,56	0,79	405	»	31	52	207	0,51
22	1,03	4,50	3,42	0,76	384	»	40	50	256	0,67
23	1,03	4,50	2,98	0,66	326	336	50	42	269	0,80
La roue immergée de $0^{m},25$ *à* $0^{m},30$ *seulement.*										
24	1,13	4,71	5,60	1,18	630	710	0,50	82	»	»
25	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
26	1,22	4,90	2,87	0,58	373	456	73.50	42	335	0,87
27	1,12	4,69	5,60	1,19	627	702	0,50	82	»	»

33. Une première remarque que l'on fait sur ces expériences, c'est que la roue immergée ou non immergée fournit à très peu près la même quantité relative d'effet utile.

On voit en effet, dans l'expérience n° 12, où la roue n'était pas immergée, que l'effet produit était 0,88 de l'effet théorique.

Dans l'expérience n° 23, la roue immergée de 0,51 a produit 0,80
id. 26, *id.* 0,25 à 0,30 0,87.

34. Une autre observation remarquable, c'est que la chute restant la même et l'orifice d'écoulement étant constant, la dépense d'eau diminuait avec la vitesse de la turbine.

La hauteur de l'eau contre la jauge inférieure n'a pas varié, dans toutes les expériences, au delà de $0^m,02$, et cependant la roue à ailettes a fait, lorsque la turbine tournait sans charge ou à peu près, environ le double des tours comptés quand la turbine était fortement chargée.

Je ne m'étendrai pas davantage sur ces expériences; les nombres du tableau indiquent suffisamment que non seulement la turbine dont il s'agit fonctionne dans l'air avec un avantage plus grand que celui que l'on pourrait attendre de tout autre système, mais encore que cette roue étant exposée à la résistance du fluide dans laquelle elle est souvent immergée, l'effet supérieur qu'elle donne ne diminue qu'en raison de la chute et de la dépense d'eau.

35. La seconde turbine que j'ai établie, représentée Pl. 3, n'a pas été essayée au frein; il ne s'agissait pas ici de prouver au propriétaire pour qui elle a été construite combien elle rendait de la force dépensée, mais seulement de démontrer que pour produire le même effet elle usait moins d'eau que les autres roues, qu'elle tournait sous l'eau à

l'abri des gelées et des variations de niveau. A cet effet, la turbine fut placée sous la même chute d'eau qu'une roue à augets en dessus établie depuis quelques années, et faisant jouer, avec une vitesse convenable, des pistons de machines soufflantes, que ma turbine devait aussi faire agir comparativement.

On engrenait l'une et l'on dégrenait l'autre; les ouvertures de vanne étaient réglées de manière que la dépense fût la même dans les deux cas.

On faisait dans cet état marcher la roue à augets pendant un temps assez long, pour que son mouvement fût uniforme; on comptait les coups de piston, et on engrenait la turbine après avoir dégrené l'autre roue; on la laissait marcher quelque temps et on comptait les coups de piston fournis.

Voici ce que l'on a remarqué :

Pour des quantités de vent au dessus de 13 à 14 mètres cubes par minute, les deux roues pour le même effet employaient la même quantité d'action; car la turbine avait alors une vitesse et une ouverture de vanne trop petite.

Au contraire, à mesure que l'ouverture de la vanne et la vitesse augmentaient, on obtenait une plus grande quantité de vent, toutes choses égales d'ailleurs, avec la turbine qu'avec la roue à augets; enfin, quand la roue fonctionnait sous l'influence des conditions de son établissement, son effet excédait notablement celui de la roue comparée, qui, d'ailleurs, était bien faite et en bon état; cette roue, dont un bras seul pèse plus que ma turbine entière (qui ne pèse que 80 kilogrammes), n'est pas susceptible d'une force supérieure aux $\frac{3}{4}$ de cette petite roue : c'est ce que l'on a jugé par le *maximum* de vent fourni alternativement par l'une et l'autre

Pour démontrer la facilité avec laquelle elle fonctionnait

sous l'eau, nous l'immergeâmes de $1^{m},20$, elle continua non seulement à fournir le vent nécessaire, mais encore à faire tourner immergée la roue qui, sans charge et recevant toute l'eau qu'elle pouvait débiter, avait peine à prendre une vitesse moitié moindre, quoiqu'elle ne reçut plus d'eau par dessus lorsque la turbine la faisait tourner.

Je sais que ces expériences, si elles étaient isolées, ne convaincraient pas de la bonté de la machine, mais il fallait parleraux yeux d'un homme expérimenté jugeant mieux par des essais de ce genre qu'avec un frein dont il ne connaissait pas l'usage. Désirant démontrer par des nombres la supériorité de la turbine sur la roue généralement employées; je lui proposai de la soumettre à l'essai au frein avant de construire la grande qu'il me demandait; mais sa conviction étant suffisamment formée au bout de quelques mois, il ne tarda pas à me charger de la construction de la grande turbine que je viens d'établir à Fraisans.

QUATRIÈME PARTIE.

Instruction pratique sur l'établissement des turbines hydrauliques pour chaque cas particulier.

Le programme, en imposant aux concurrents l'obligation de rédiger une instruction pour guider la marche des praticiens appelés plus tard à construire les turbines présentées au concours, n'a sans doute pas entendu étendre cette obligation jusqu'à exiger d'eux le long et difficile ouvrage qu'il serait indispensable d'écrire pour traiter en détail tous les objets qui se rattachent à l'établissement des roues hydrauliques en général.

D'ailleurs cette tâche est beaucoup mieux remplie par divers auteurs que ne pourraient le faire le plus grand nombre des concurrents ; je ne crois pas m'écarter du but du programme en renvoyant, pour les opérations préliminaires au mémoire sur les roues à aubes courbes de M. *Poncelet* (1), les praticiens qui n'auraient pas déjà étudié cette partie des connaissances à acquérir, et en passant de suite au calcul des dimensions et au tracé de la roue.

Je suppose donc que l'on connaisse en chevaux-vapeur la force que l'on veut obtenir d'une turbine à construire sur une chute donnée.

On convertira cette force en mètres cubes d'eau supposés élevés à un mètre par seconde, en divisant le produit du nombre de chevaux-vapeur, multiplié par le nombre de kilogrammes, à un mètre par seconde adopté pour représenter la force d'un cheval par mille fois la hauteur de la chute en mètres; le quotient exprimera le nombre de mètres cubes d'eau que la roue devrait dépenser si elle produisait le *maximum* d'effet.

Mais comme l'effet utile varie de 0,70 à 0,83, il vaut mieux adopter, pour rapport de l'effet utile à la quantité d'action à dépenser, la fraction 0,70.

Pour obtenir le nombre de mètres cubes à dépenser, il faudrait diviser le nombre trouvé ci-dessus par 0,70

Le quotient exprime en mètres cubes la dépense cherchée : or, cette dépense doit égaler le produit de l'orifice de la vanne circulaire par la vitesse due à la hauteur de la chute (2) et par le coefficient de contraction que j'ai trouvé moyen-

(1) Ce mémoire a été publié dans le *Bulletin de la Société d'Encouragement*, année 1825, p. 335.

(2) Les vitesses dues à différentes hauteurs de chute se trouvent toutes calculées dans l'ouvrages cité de M. *Poncelet*, dans l'*Architecture hydraulique* de *Bélidor*, avec

nement, et que je prends égal à 0,83, toutes les fois que la vanne n'est pas levée à plus des deux tiers de sa hauteur; mais (34) la dépense diminue lorsque le mouvement de la turbine se ralentit et que l'orifice de la vanne a pour hauteur celle de la roue; il convient donc de réduire à 0,60 le coefficient 0,83 pour avoir une roue capable de débiter le volume exigé.

Si donc on divise la dépense en mètres cubes trouvés ci-dessus par les 0,60 de la vitesse de l'eau, on aura l'aire de l'orifice d'écoulement égale à s.

Et comme la hauteur e de cet orifice doit être (20) les 0,14 du diamètre de la roue, on a

$$0{,}14\, d^2 = s;$$

$$\text{d'où } d = \sqrt{\frac{s}{0{,}14}}.$$

La règle à suivre est donc de diviser l'aire de l'orifice déterminé comme il vient d'être indiqué par la fraction 0,14; la racine carrée du quotient donnera le diamètre cherché.

Soit, par exemple, une chute de 2 mètres, sous laquelle on veuille établir une turbine de la force de trente chevaux-vapeur de 73,69 kilog. chacun, élevés à un mètre par seconde, quel diamètre faudra-t-il donner à la roue?

Trente chevaux de 73,69 kil. chacun équivalent à $30 \times 73{,}69 = 2210{,}7$ kil. élevés à un mètre.

Divisant ce nombre par 1000 fois la hauteur de chute, 2 mètres, ou par 2000, on a pour quantité d'action à produire

$$\frac{2210{,}7}{2000} = 1{,}105 \text{ mètre cube},$$

les notes de M. *Navier*, dans celle de M. *de Prony*, etc., et sont d'ailleurs égales à la racine carrée du produit de la chute en mètres par le nombre constant 19,62.

et comme l'effet utile n'est compté que pour les 0,7 de la quantité d'action dépensée, on aura pour dépense réelle à effectuer par la roue

$$\frac{1^{m},105}{0,70}=1,58 \text{ mètre cube.}$$

La vitesse de l'eau pour une chute de 2 mètres est théoriquement de

$$6^{m},27=\sqrt{19,62\times 2}.$$

La dépense $1^{mc},58$ étant divisée par $0,60\times 6^{m},27=3,762$, donne l'orifice d'écoulement

$$s=\frac{1,58}{3,762}=0^{m},42.$$

Pour trouver le diamètre intérieur à donner à la roue, on a vu qu'il fallait prendre la racine carrée du quotient

$$\frac{0^{m},42}{0\ ,14}=3.$$

Effectuant cette opération, on a pour diamètre intérieur

$$d=1^{m},73.$$

Ce diamètre, multiplié par une moyenne $\frac{100}{75}$ entre $\frac{100}{70}$ pour les petites et $\frac{100}{83}$ pour les grandes roues, donne pour diamètre extérieur de la roue

$$D=1,25\times 1^{m},73=2^{m},16.$$

Ainsi, le diamètre intérieur serait $1^{m},73$.

Le diamètre extérieur, $2^{m},16$.

La hauteur de l'ouverture de vanne, égale à $0,14d$, serait $0,14\times 1,73=1^{m},242$.

La vitesse de la roue pouvant varier (13) sans qu'elle cesse de produire le *maximum*, si on donne à l'angle α la valeur indiquée par la formule

$$\sin.\alpha=\frac{V}{2u},$$

on sera maître de prendre u=vitesse de la roue ou cercle intérieur comme le mécanisme auquel elle devra s'appliquer l'exigera. Cependant, l'on ne doit pas faire u plus petit que $\frac{1}{2}$V attendu $\frac{V}{\frac{1}{2}V}=1$; l'angle α serait droit et cette condition ne peut pas être remplie en introduisant l'eau par le cercle intérieur. Pour que l'angle α soit le plus grand possible, et que l'introduction de l'eau ne soit pas gênée, il faut que la vitesse de la circonférence intérieure soit au moins les 0,58 de celle de l'eau.

Dans le cas dont il s'agit, la vitesse de l'eau est de $6^m,27$ par seconde; le *minimum* de vitesse à lui donner est donc

$$6,27\times 0,58=3^m,64.$$

La circonférence du cercle intérieur est $3,14\times 1^m,73=5^m,42$.

La plus petite vitesse sera donc exprimée en tours par minute, par

$$\frac{3,64\times 60}{5,42}=40 \text{ tours par minute.}$$

Ainsi le roue devra faire au moins 40 tours. Il sera mieux de porter ce nombre à 50 ou au dessus.

La vitesse alors sera les

$$\frac{5,42\times 50}{60\times 6,27}=0,72$$

de la vitesse de l'eau.

On a donc, en prenant celle-ci pour l'unité,

$$\text{Sin.}\,\alpha=\frac{V}{2u}=\frac{1}{1,44}=0,695,$$

que l'on trouvera sur les tables correspondant à 44 degrés.

Prenant donc sur une échelle quelconque ici $0^m,05$ pour mètre, les rayons intérieurs et extérieurs de la roue ont décrit

avec ces rayons les deux circonférences intérieure et extérieure.

On mène le rayon *oa*, *fig.* 5, Pl. 1, au point *a*; on fait l'angle *hao* égal à 44 degrés trouvés précédemment.

Du centre *o*, on mène la ligne *od* faisant avec *a o* un angle *aod*=*dao*. Par le point *e* où *ad* coupe là circonférence représentant le noyau ou tube dont est surmonté le plateau à courbes fixes, on menera *eb* parallèle à *ao*; élevant en *b*, intersection de *be* avec *ha*, la perpendiculaire *bc*, et abaissant de *d*, sommet du triangle *ado*, une perpendiculaire sur la base *ao*, le point où cette ligne prolongée rencontrera *bc* sera le centre d'un arc de cercle qui donnera la courbure des diaphragmes dont la partie *bg* seulement est droite.

Pour avoir la direction du premier élément de la courbe, on menera la tangente *ap* au cercle intérieur; on portera sur la ligne *ha*, direction de la vitesse de l'eau, une longueur *ah* égale à dix divisions de l'échelle, et comme dans le cas dont il s'agit la vitesse de la roue *u* est les 0,72 de V, on portera sur *ap* $7 \frac{2}{10}$ des mêmes divisions. Par les points *h* et *p*, on menera *hq* et *pq*, respectivement parallèles à *ap* et *ah*; on formera ainsi un parallélogramme dont la diagonale *qa* est la direction cherchée.

Cette direction connue et prolongée jusqu'à la circonférence extérieure en G, on élevera sur *a*G une perpendiculaire *a*L prolongée indéfiniment et coupant en K la circonférence extérieure de la roue.

Les $\frac{2}{3}$ de GK donnent (17) la distance à mettre entre G et I, extrémité de l'aube courbe.

Quant à la courbure, elle se détermine par le procédé suivant.

Du point K comme centre, et avec un rayon KI, on

décrit un arc de cercle I*i*, on prolonge indéfiniment la droite IK.

On divise ensuite le nombre des unités quelconques (des millimètres, par exemple) contenues dans la ligne *ai* par la différence de l'*unité* à la fraction qui exprime le cosinus de l'angle MKL; le quotient de cette division exprime en millimètres la longueur KM.

Du point M, abaissant sur KL la perpendiculaire ML, et menant par divers points *m. m. m.*... de cette ligne, une infinité de droites *m*K, *m*K, prolongées autant qu'il est nécessaire; et passant toutes par le point fixe K, la longueur MI, successivement portée sur ces lignes, déterminera autant de points que l'on voudra de la courbure de l'aube.

En grand, on pourrait exécuter ce tracé en se servant d'une règle fixée en LM et d'une règle mobile dont la longueur = M I, glissant sur la première et s'appuyant contre un point I : un crayon placé à l'extrémité I, sur la ligne droite *m*K du point de contact des deux règles au point fixe I, tracera la courbe demandée.

Ainsi se trouvent déterminées toutes les parties essentielles de la machine. Quant à ce qui concerne la garniture en bois D arrondie en dessus et en dessous en quart de cercle pour empêcher la contraction de la veine, on se conformera à ce qui est expliqué dans le mémoire et aux dessins qui l'accompagnent.

Il en sera de même pour les détails des différentes parties de la machine, et l'on aura à se décider, quand la chute excédera 2 mètres, pour la disposition de la Pl. 3 ou pour celle des Pl. 2 et 4.

Reste maintenant à fixer le nombre des aubes de la roue et celui des courbes fixes.

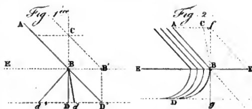
Le premier devant être celui qui se rapproche le plus du quotient de la circonférence intérieure de la roue (égale ici à 5^{m}, 42), divisée par la hauteur $e = 0^{m},24$; on a donc pour le nombre cherché :

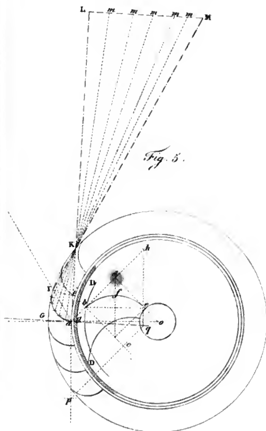
$$\frac{5,42}{0,24} = 22.$$

Ainsi, la roue aura 22 aubes courbes *a*I. Ce nombre étant entre 18 et 24, celui des courbes conductrices sera (18). la moitié de 22 ou 11.

FIN.

...liques, par M. Fourneyron.

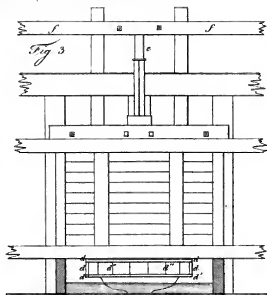


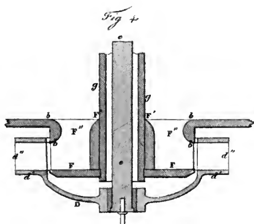


1 2 Mètres



l'Ognon (Haute Saône)





3 Mètres

...rre (Jura)

3.

Fig. 4.

4 Mètres

figure

Pl. 4.



